

# 教育におけるコンピュータ利用\*

高橋 澄夫\*\*

## 1. まえがき

多数の学習者を同時に、しかも個別的に教育する CAI (Computer Assisted Instruction) の出現は、コンピュータの超人的能力が教育界からも着目されたからにはほかならないが、教育分野では、この CAI のほかに①図書・文献などの情報検索、②学校事務や学校経営の管理、③テストの採点や教材の配分などにもコンピュータが使われだしている。このうち①、②は学校固有のものではないが、③の教務に関するコンピュータの利用は学校教育独自のものである。これは CMI (Computer Managed Instruction) と呼ばれ、CAI より遅れてスタートしたものであるが、オンラインによるタイムシェアリング方式 (TSS) の開発・普及につれ、その研究も急速にすすめられている。

本文では教育分野におけるコンピュータの利用という観点から、この CAI と CMI の二つについて述べてみたい。

## 2. 教育工学の発達とコンピュータの役割

### 2.1 教育工学の意味と背景

アメリカでは第二次大戦の遂行にあたり、短期間に大量の兵員を養成するために、また兵員を供出した後の産業界がかわって受け入れた女子や老年者の技術修得のために、多くの視聴覚教材をとり入れた訓練を行なった。戦後はこの経験を生かし、各種の分野でスライド、OHP、LL、CCTV などの電子機器が開発され、要員の訓練に成果をあげた。こうした動きはやがて教育そのものを目的とする機械、ティーチングマシンの出現となり、そのマシンにコンピュータまでも使うようになったのである。この開発・進展のかけには、戦後技術革新や労働力不足に対処して、生涯教育や能力開発が叫ばれ、新たに教育産業や教育工学なる言葉が生まれるほどの背景があったことも見のがせない。

教育産業は1962年プリンストン大学のマッハルプが知識産業こそ未来の成長産業であると論じ、そして教育は知識産業の中の44.1%も占めると指摘したことから始まるといわれる<sup>1)</sup>。

教育工学は10年ほど前から、アメリカの論文などで Educational Technology とか Educational Engineering とかで使われ出し、従来の教育という人間的営みを現代の科学技術の視点からみなおし、教育の機械化や科学化を進めようというものである<sup>2)</sup>。

図1は最少の教師と時間で、最大の教育効果をあげようとする方法の変遷を、教育工学的に位置づけてみた。教育・訓練の方法には講義、討論、事例研究のように集団で行なう方法と、プログラム学習のように個別に行なう方法とあり、またその学習内容は技術、知識、態度などによって、教え方や教材が異なってくるはずで、したがって図1のいずれもがそれぞれの特徴をもっている。とくに現在、個別学習と同時に、スキップの重要性から寺小屋のようなマンツウマンの少数授業も改めて認識されてきている<sup>3)</sup>。

### 2.2 プログラム学習とティーチングマシン

図1のプログラム学習は画期的な学習理論で、そのハードウェアであるティーチングマシンや CAI は従来の教科書と黒板による教育を変えてしまうものと考えられている。その端緒はアメリカのオハイオ州立大学のプレッシーが1924年、アメリカ心理学会で発表した“Simple Apparatus with Gives Tests and Scores,

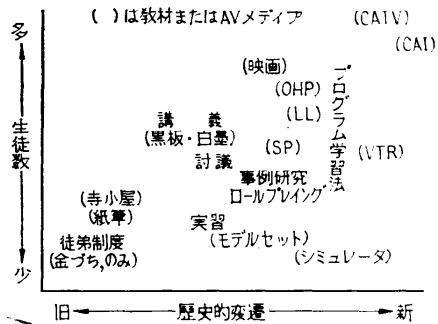


図1 各種教育方法の位置づけ

\* Use of Computers in Education, by Sumio Takahashi (Japan Information Processing Development Center)

\*\* 日本情報処理開発センター

and Teaches” であるとされている。これは巻紙に印刷された問題を生徒がよみ、多岐選択のボタンを押して回答する。その回答が正しければ巻紙は巻かれ、正の点数が加算されて、つぎの設問が現われる。誤った回答をすると負の点数が加算され、巻紙は動かない、といった簡単な仕組みのものである。プレッシーは、ここで設問しやすいものから、むずかしいものへとつないでいくと、機械が「教える」ことも可能で、したがって遠からず「教育革命」がおこるだろうと予言した。

1954年、スキナーはこの機構をさらに修正・展開させたプログラム学習(Programmed Learning 以下 PL と略す)の理論を確立した。スキナーによれば、教育とは、たんに試験をし、その結果を採点することではなく、ある目標にまで意欲的に学習者の能力を高めることである。また正しい答を選ばせるのではなく、学習者みずからして正しい答をつくり出させることである。として今日のプログラム学習のテキストブックのような教育機械( Teaching Machine 以下 TM と略す)を作った。この TM は質問の答が正しいと次の質問が出る。すなわち質問が直線的につながり、かつ回答はいつも正しいものである必要がある。

1961年、クラウダーは、このスキナーの直線型理論の欠点を指摘し、プレッシーの多岐選択に意味を与えた。すなわち、もし違った答を出せば、それに対する説明を示して正しい答に導くよう工夫した。これを分岐型(branching)といい、PL から CAI への展開のきっかけとなった。

CAI にしても TM にしても、そのソフトウェア部分として PL が重要な役割を果たすが、PL の特徴は、以下の4原理であり、いずれも教育心理学という学習の法則に基づくものである<sup>4)</sup>。

- (1) スモール・ステップの原理 教育目標実現のための到達過程を一步一步積みあげていくスモール・ステップに分析する。
- (2) 積極的反応の原理 質問に答えさせ行動によって学習させる(Learning by doing)もので、学習者が応答した場合、すぐにその反応行動が正しいか、否かを学習者に知らせる。
- (3) 自己ペース原理 一斉授業と異なり学習者の個人差に応じた個別学習である。
- (4) 学習者検証の原理 学習者に与えられる教材、教授過程すべてがプログラムという形で保存され、いつでも検討・修正される。

### 2.3 CAI の特色

CAI の典型的な形は、コンピュータが問題を提示し、学習者が答えるとコンピュータはその答を検討して、正・誤その他の説明を教え、それまでの学習経過を勘案して、次に提示する問題を選定し学習者に示す。学習者の回答は即座に過去の学習経過に上積みされてゆく。という一連のパターンである。

この CAI の基本となる考えはスキナー、クラウダーらの PL によるものであるが、スキナーと時を同じくしたブルナーらの発見学習の主張もみのがせない。

これは、学習者が十分に学習し、理解するには教師を通じて既成の情報が伝達されるというだけではなく、学習者自身が情報を発見していく必要がある、という主張である<sup>5)</sup>。ふつうの PL テキストや機械化された TM では、このような発見学習を行なわせることはむずかしい。PL はきめられた筋をたどるが、発見活動にあたっては、網の目のように情報を組織し、いろいろな道すじでこの情報網をたどることができるようにする必要があるというもので、それにコンピュータが力を貸すことになる。

一方、ストロウ(Storow)は CAI の働きを Problem solving mode (問題解決用)、Drill and practice mode (一本道の PL 用 TM)、Inquiry mode (IR 用)、Tutorial mode および Author mode に区別したが、このうち、いわゆる CAI の形態にはいるのは、後の2つである。

Tutorial mode というのは学習者の反応に応じてプログラムが柔軟に枝わかれする形である。しかし学習者の反応を想定してプログラムを作成するのは、實際上教師が教える過程の中で追求してゆく内容に限られている。すなわち学習プログラム作成にあたっては、個別に最適プログラムを予測する理論はなく、試行錯誤して修正していくのが現状である。しかし、いちいちこうした試行錯誤的データを集積していたのでは大変な仕事になるので、これもコンピュータにさせたら考えた方法が、Author mode である。すなわち経験によってコンピュータの反応が変化するわけで、学習機械としての性格をそなえた TM ということになる。このため、フレームの特質、学習者の特質をそれぞれどのように押さえていくか、また特定の性質をもったフレームに特定の仕方では反応した場合、次にどのフレームに進ませるかを判断する基準をどう定めるか、などの処方が必要になってくる<sup>6)</sup>。

こうした CAI の働きから、CAI は従来の教師によ

る授業に比べ、①多人数が同時に個別学習できる。②短時間に集中学習できる。③教師間のレベル差が補正できる。④教育改善資料が得られる。といった長所がある一方、いまのところ、(i)コンピュータが高く費用がかさむ。(ii)学習端末が使いにくい。(iii)教材作成が困難である。(iv)直接教師との対話がない、などが問題とされている。

2.4 CMI の出現

このような教育機械化の中で、コンピュータと学習者の対話をめざす CAI とは別の流れとして、教務的なコンピュータ利用 CMI がある。これは生徒の診断、テスト、分析、ならびに教材、教科の処方、割当などの、やや事務管理的なもので、各学生に与える教育の効率と品質を高めるために教師がしてきた仕事を、コンピュータが手助けするために生れたものである。そのため各学習者の適性と能力に基づき、学習者の成果とテキストや視聴覚教材などのメディア処方とを最適に相関させるアルゴリズムを開発する必要がある。

CMI に対するアメリカの努力は、CAI の 1/5 に過ぎない<sup>7)</sup>といわれているが、今日 TSS の発展によりオンライン CMI が、教師のもつ迅速柔軟な行動をも満足させようと、急速に開発されつつある。かくて CAI のみでは高すぎたコンピュータも、教育への多方面の活用により、割安になる傾向を生じてきている。

3. CAI, CMI の現状

3.1 アメリカの概況と例

CAI がとくに注視されるようになったのは、米空軍の防空管制システム SAGE においてコンピュータを敵機発見だけに用いるには、いかにももったいないので、SAGE 要員の教育・訓練に適用できないか、と思いついたことによるといわれている<sup>8)</sup>。

アメリカの CAI 研究プロジェクトは、この SAGE 関係者の参加のもとに、開発当初の 1960 年代初めころ、イリノイ大学、スタンフォード大学、SDC (System Development Corporation)、BBN (Bolt Beranek & Newman)、サイバネティック開発会社、IBM ワトソン研究所の 6 箇所で行なわれた<sup>9)</sup>。1971 年現在では、CMI も含めて約 70 箇所で行なわれているか<sup>10)</sup>、そのうち、教育心理学者を中心とするスタンフォード大学のもの、工学関係者を中心とするイリノイ大学のもの、とくに著名で、この 2 つの流れが他の CAI 研究に影響を与えている。

図 2 は 1969 年 PDP-10 を加えたスタンフォード大

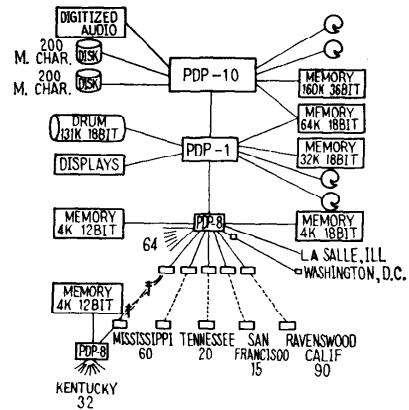


図 2 スタンフォード大学の CAI システム

学の CAI の構成図である。PDP-8 は回線制御用で端末機の大半は通信回線を通して遠隔地実験校につながる。算数のばあい、タイプから出題が印刷され学習者がキーで答える。読み方や語学にはタイプにイヤホン、スライドの組み合わせを用いる。このほかに家庭用押しボタン式電話機を用いる方法も行なわれている。

イリノイ大学の CAI は PLATO (Program Logic Automated Operations) と呼ばれ、1959 年にスタートし、現在 PLATO III が運用され、CDC 1604 を中心として 70 台の端末を接続している。これまで約 300 の学習プログラムが作られ、その対象も幼児から大学生までにわたっている。いま計画中の PLATO IV は、CDC-6400 に 4,096 台の端末を接続し、これを TSS で運用することによって、CAI のコストを小学校の一般授業なみに下げようともくろんでいる。この端末には同大学で開発したプラズマディスプレイを利用し、音声は磁気ディスク上に録音しておき、多数の端末に分配できるものの試作を進めている。

CMI の例として、ウェスティングハウス・ラーニング社開発の PLAN (Program for Learning in Accordance with Needs) がある。これは 25,000 の学習単位をコンピュータに記憶させておく。学習者はコンピュータが割り当てた単位を自分の机 (学習端末機でない点が安価) で実施すると、コンピュータはその結果の採点とともに次の単位を割り当てる方式である。1967 年、アメリカ内 4,000 人の生徒がこれを使い始め<sup>7)</sup> 1970 年には 10,000 人、71 年には 100,000 人<sup>11)</sup> が使うといわれる。

図 3 は中央のコンピュータにたくわえられる学習者情報とその流れを示す。教師はこれら情報をもとに、

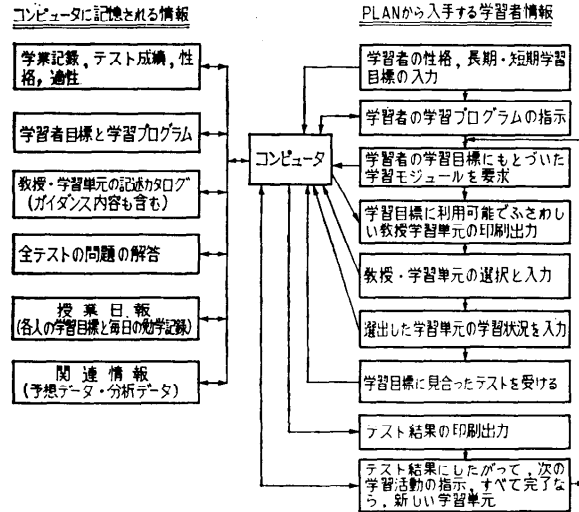


図3 PLAN システムの学習者とコンピュータの関係

教授法と学習者にマッチした単位のよりよい選択を進める。このほかアメリカ海軍兵学校の CMI は<sup>12)</sup>、200 人学生を 12 の教程、10 のグループに分け、適性、能力、教授、メディア（たとえば図 1 の方法や教材）の相関に関して、分析・実験を行なっている。なお、学習者自から、答と一緒にその答に対する自信度を記入し、答の正誤と自信度からその学習者の信頼度も測定している点が 1 つの特徴となっている。

表 1 はアメリカ主要大学の例を示したものである<sup>13)</sup>。

### 3.2 アメリカ以外の概況

西欧諸国においても、アメリカを追って熱心に研究が進められ、その現状は昨夏、東京での OECD、文部省共催の“教育におけるコンピュータ利用”国際セミナー<sup>9)</sup>やアムステルダムでの IFIP（国際情報処理学会）の“コンピュータ教育”世界会議<sup>10)</sup>でも知ることができた。しかし各国とも小規模な実験が行なわれているにすぎない。IFIP 提出の CAI、CMI 関連の論文をみても、過半数がアメリカで、あとはイギリス、イタリア、カナダ、オランダ、オーストラリア、日本、フランスが分ちあい、その内容もアメリカと類似したものや抽象的な方法論が多い。むしろ両国際会議とも国家的な援助を強化し、全体としての研究体制を一本化することを課題としていた点が印象的であった。

### 3.3 日本における現状

わが国では、大学に科学技術計算用としてコンピュータが導入され、後に入試業務や学生の追跡調査など

に利用されたが、CAI については、中学校や企業で一部導入され出したばかりである。

1960 年以後、PL や TM の登場とともに、CAI がアメリカからわが国に伝えられた。1966 年工技院電気試験所の研究発表、1968 年能力工学開発センターの CAI 開発が、わが国 CAI の始まりといわれる。教育の場における実践的研究では、1966 年香川大学の附属中学校にコンピュータが導入されたが、これはむしろ、集団用 TM や CMI としてであった。

この集団用 TM については、昨夏の国際セミナーでグレーザ (R. Graser) をして、日本人は CAI に対して特異な考え方を持つといわしめた<sup>9)</sup>もので、当時 CAI としてコンピュータを個別学習に用いるには高価にすぎ、また学習者に疎外感をいだかせる。したがって集団で教えることにより、集団の相互作用、集団思考をひき出すことに着目したわけである。この点不況のアメリカが CAI から CMI に研究を移行した前記 PLAN の例に類似したところがあり興味深い。またコンピュータによる集団学習が必ずしも日本独特でないことは、オランダのライデン大学の例<sup>10)</sup>からも知ることができる。

わが国で CAI の研究看手が遅れたのは、おもに財政上の理由に基づくものであるが、そのほかにも、漢字やカナを必要とする情報伝達方法があり、この点集団用 TM とともにわが国 CAI の特徴をなしている。

能力工学開発センターの端末装置はスライド提示板と反応用キーからなる。コダック製ランダムアクセス

表 1 アメリカ主要大学における CAI・CMI 利用 (研究) 状況<sup>13)</sup>

	利用内容	対象レベル	型		利用内容	対象レベル	型	
イ リ ノ イ 大 学	算数, 初等数学	Elementary Secondary College/University	tutorial	ハ ー バ ー ド 大 学	算数, 初等数学	Elementary, Junior (7~9)	tutorial	
	物理学	Secondary (10~12) College/University	inquiry, tutorial simulation		読み書き	Elementary	drill and practice tutorial, testing	
	社会科学	College/University	tutorial, inquiry gaming		保健学	Medical student	inquiry	
	読み書き	Pre-school (2~3才)	drill and practice		地質学	Undergraduate College	linear tutorial	
	ロシア語		College/University		tutorial	経済学	College	"
	自然科学	Junior	inquiry, simulation		英語	"	"	
	スペイン語	Secondary, College/Uni.	tutorial		コンピュータ・オペレーション	Operator	"	
	フランス語	"	"		ガイダンス, カウンセリング	Elementary (2~6)	diagnostic test	
	統計学	College/University	tutorial		ラテン語	Junior	tutorial	
	生物学	Junior, College/University	inquiry tutorial		ス タ ン フ ォ ー ド	算数, 代数, 論証	Elementary, Junior (7~9)	drill and practice tutorial
	化学	"	tutorial			読み書き	Secondary (10~12) College/University	tutorial
	地理学	Secondary, College/University, Adult	inquiry			ロシア語	1st~3rd grade College/University	tutorial
	経済学	College/University	simulation, dialogue					
	工学	"	tutorial, inquiry			ペ ン シ ル バ ニ ア 大 学	算数・代数・幾何	Elementary, Secondary
	英語	"	drill and practice tutorial		微積分		College/University	"
日本語	"	物理学		"	tutorial, adaptive, test			
ラテン語	" , secondary	gaming, simulation dialogue	心理学	Post high, technical	Auto-instructional			
国際関係学	一般	simulation, tutorial	自然科学	{ Junior, Secondary, College/University	intrinsic			
経営学	graduate school business/industry adult	simulation, tutorial	会計学	College/University	tutorial			
図書館学	College/University	tutorial	コンピュータ・プログラミング	Secondary	tutorial			
フ ロ リ ダ 大 学	数 学	High, College	tutorial	工 学	College/University	intrinsic		
	物理学, 化学	College/University	"	ガイダンス, カウンセリング	Secondary	inquiry		
	自然科学	Junior high	"					
	職業訓練	Adult education	"					
	社会科学	College/University	inquiry					
	統計学	"	testing					
	計算機言語	" Adult	tutorial, dialogue					
読み書き	Elementary, Junior, Secondary	drill and practice tutorial						

プロジェクトから写された日本語や図を見て, 学習者は反応用キーを打って答える。このキーは, 学習プログラムに応じて自由に文字または記号を与えるよう, 種類のキーマツトをかぶせて切り替え使用する。このセンターでは教育心理学, 行動科学面から学習者の行動分析を追求, 研究したうえで, Tutorial mode 中心の学習プログラムを組んでいる。CAIプログラム言語はアセンブラを主にして組まれている。

図4は機械振興協会のCAI教授機能を示す<sup>6), 14)</sup>。機械振興協会では通産省の委託を受け, 昭和44年東大渡辺 茂教授を中心とした委員会でも共同開発され, 本年夏工事を修了した。メーカーはコンピュータが日立, 周辺装置は日電, 東芝, 松下が分担した。図4も日立中央研究所開発の学習形式<sup>10), 15)</sup>をとり入れたものである。四角で表わした質問提示(Q<sub>i</sub>)または説明提示(C<sub>i</sub>)に対して, 学習者は丸で表わした応答の中から自分の答を選び学習する。応答(ANS)の後, 誤

答回数や得点数などは各学習者の学習経歴をプログラムして次の教材への分岐の条件に利用できる。また学習者は HINT や正答 (CA) を要求したり, 関連教材を CALL したり, 逆進 (REV) したりできる。学習者の意志を汲みとる (OK) 点や時間ぎれ (TU) も考慮している。

なお標準 CAI 言語がこの計画と並行審議 (委員長野田克彦) され採用されたが, この言語は各種端末機を駆使し, 融通性高い学習の流れを表現できるよう工夫された汎用言語である。今後国内で CAI 用学習プログラムを蓄積し, 互換性を確保してゆくうえで役立つと思われる。

遠隔端末をもつオンライン CAI としては, 日本 IBM が本年 ('71年) 2月より実施し, 日本電信電話公社でも本年秋より実施の予定である。いずれも自社内訓練用である。電電公社の端末のスライド提示面は, 2段になっており, 上段に説明と質問, 下段に反応の

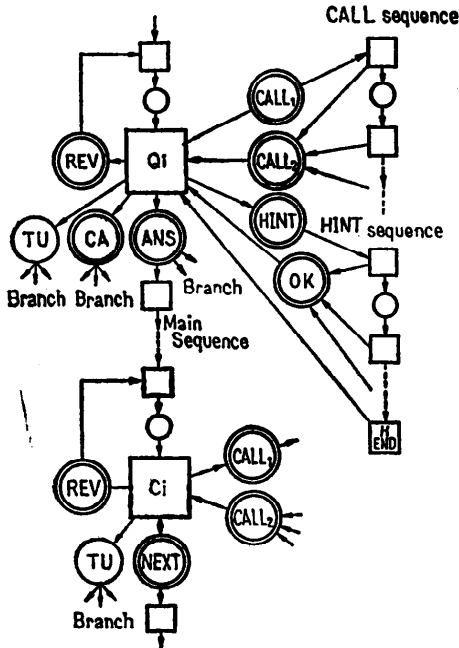


図4 機械振興協会 CAI の教授機能

評価を日本語や図で行なう。また学習プログラムの作成体制としては、①行動分析、②作画、③コーディング、④トライアウトの4グループからなり、このうち④は学習内容を全く知らない者が学習しつつトライアウトし、スムーズに学習できない点をノートする、といった進め方が特徴である。

#### 4. むすび

CAI の実用化を遠いものにしての当面の問題はなんといってもその経済性であろう。

とくに学習端末については、人対機械のインターフェイスの問題がある。たとえば出題、解説などは現在のテープでよいとしても、学習者の応答は音声認識、あるいはパターン認識による処理がほしい。またCRTディスプレイにしても現在のものは見にくく、かつ高価でもある。その他の機器についてもメカニカルな問題とそれらの有機的な構成という点で、いま一步、人間サイドのものへ近づける努力が必要である。

教師のすぐれた洞察や学習者とのスキンシップといったものもふくめたすべての機能を、CAI によっておきかえることは不可能に近い。

しかしこうした問題点を含んでいても、現在 CAI の役割は大きく、時間も 1/4 短縮して教育効果をあげ

うるといい、それだけ早く社会に貢献できるなら経済的にも十分見合うという説もある<sup>9)</sup>。とくに情報処理の教育、あるいは特定の治療や技能の訓練には有効に実用化されつつある。

将来は一般教師の周囲にもコンピュータは近づくものと思われる。TSS の発展とともに CAI より経済的な CMI が実用化され、教育のトータルシステム化が進むであろう。これからの教師は教育の成果をあげるためにコンピュータなどの機械やメディアを積極的にとり入れ、それによって得た余裕を学習者との人間的ふれ合いにより多く向けるべきであろう。

#### 参考文献

- 1) 電気通信総合研究所編：「マッハルプ知識産業の構想」，ダイヤモンド社，昭和46年2月，p. 79.
- 2) 沼野一男：「教育学」，日本放送出版協会，昭和46年3月。
- 3) 高橋澄夫：「能力開発のための訓練技法」，視聴覚技法，1970年1月，p. 18.
- 4) 主原正夫編：「プログラム学習事例集」，視聴覚コンサルタントセンター，1969年7月，p. 41.
- 5) J. S. ブルーナー，鈴木，佐藤訳：「教育の過程」，岩波書店，昭和38年11月。
- 6) 「CAI 技術の動向」昭和45年6月。日本情報処理開発センター。
- 7) H. J. Brudner：「Computer-Managed Instruction」，Science，Nov. 1968.
- 8) R. Glaser 編：「Teaching Machines and Programmed Learning, II」，1965, National Education Association of U. S., p. 196.
- 9) 矢口 新：「CAI システム開発の現状と問題点」，能力開発工学センタ，45. 9. 10 資料より。
- 10) 「IFIP コンピュータ教育世界会議および欧州におけるコンピュータ教育状況調査報告書」，昭和45年10月，日本情報処理開発センター。
- 11) 「海外情報」機械振興協会，1970年10月，p. 2.
- 12) J. S. Vierling, M. Shivaram：「On-line Computer managed instruction—The first step」，FJCC，1970，p. 231.
- 13) 日本ユニバック総合研究所資料（1971年7月）より。
- 14) 「機械振興協会の CAI システム」機械振興，昭和46年5月，p. 3.
- 15) 津田，斎藤，平野：「効果的多目的 CAI システムのための教育用言語」，昭和45年電気連合大会。

(昭和46年8月17日受付)